

# Avlu içi hava akımlarına bina cephesi açıklıklarının etkisi

**Vildan OK, Enes YAŞA\*, Mustafa ÖZGÜNLER**

*İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Fiziksel Çevre Kontrolü Birimi, Taşkışla, Taksim, 34437, İstanbul*

## Özet

*Rüzgar, yerleşme ve bina tasarımında eski çağlardan beri önemli bir çevresel faktör olmuştur. Rüzgarın, yapıların soğutma yüküne etkisi, bu etkilerin bilimsel yöntemlerle ortaya konması, tasarım ve uygulama alanlarına zaman geçirilmeden yansıtılması enerji tasarrufuna her zamankinden daha fazla gereksinim duyulan günümüzde, çok büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda, avlulu binalarda rüzgar etkisi ile oluşacak hava hareketinin etkinliğini değiştirebilecek binaya ait diğer açıklıkların da göz önünde bulundurulması, dikkatlice incelenmesi gerekmektedir. Hava hareketlerine, bir pasif iklimlendirme aracı olarak özellikle sıcak ve nemli iklim kuşaklarında, bina içi havalandırmanın sağlanması açısından gereksinim duyulabilir. Sıcak-kuru iklim bölgelerinde doğal taşınım yoluyla oluşacak bina içi-avlulu arası hava akımları, ılımlı-nemli ve sıcak-nemli iklim bölgelerinde rüzgar basıncı yardımı ile elde edilmektedir. Avlulu binaların özellikle sıcak kuru dışında ılımlı veya sıcak nemli iklimsel karakter gösteren bölgelerde doğal havalandırma açısından performansını arttıracak, dolaylı olarak soğutma yükünü azaltacak değişikliklerden biri avlu mekânına yatay doğrultuda rüzgarın iteceği havayı geçirecek boşlukların yaratılmasıdır. Bu çalışma avlulu yapıların mimari kütlelerinde yaratılacak açıklıkların avlu mekanındaki hava hareketleri hızına etkilerini rüzgar tüneli deneyleriyle ortaya koymaktadır. Elde edilen sonuçlar; boşluksuz avlulu binaya göre farklı şekillerde düzenlenen açıklıkları olan binalarda, düşey yüzeylerdeki boşlukların alan ölçüsü ve konumlarıyla orantılı olarak avlu içerisindeki hava hareketi hızlarını arttırmakta olduğunu göstermektedir.*

**Anahtar Kelimeler:** Doğal havalandırma, bina içi hava hareketleri, rüzgâr etkileri, pasif soğutma, avlulu bina iklimi.

\*Yazışmaların yapılacağı yazar: Enes YAŞA [enesyasa@yahoo.com](mailto:enesyasa@yahoo.com); Tel: (212) 498 43 02.

Makale metni 17.11.2007 tarihinde dergiye ulaşmış, 21.04.2008 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 31.08.2009 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

## The effect of the building façades openings on airflow in courtyards

### Extended abstract

*One of the modifications to increase the performance of the buildings with courtyard by means of ventilation and decrease the cooling load indirectly in the regions especially temperate or hot-humid climate except hot-dry is to create cavities to convey the air horizontally compelled in the courtyard by the wind. The air movement as a passive air-conditioning media may be required in order to provide in-building ventilation especially in the hot-humid climate zones. In hot-dry climates, the traditional courtyard building form ensures air flows to arise by themselves through natural ventilation between a building and its inner court, while in temperate-humid and hot-humid climates, such air flows are created by using the wind pressure. The courtyard building form should be improved by means of modifications designed to increase its performance of ventilation, especially for other hot climate regions than the hot-arid climate regions. In this context, the other openings pertaining to the building which may change the air movement effectiveness incurred with the wind effect in the buildings with courtyard should be taken into consider and studied carefully. Many numerical or experimental studies have been conducted on the insulation aspects of courtyard buildings. However, only a limited number of studies have been conducted on the wind effects.*

*When a building contains openings, the air flows reach highest velocity in the openings made in the same direction as the wind. The results in question comply with a number of similar experiments. The courtyard depth in the building without opening makes an effective variable in controlling these events. However, except for the hot-arid climates, the openings to be arranged on perpendicular surfaces with the buildings with courtyards to be built especially in hot-humid and temperate-humid climate regions will be of great importance.*

*The steps of the experimental study consist of the setting up of the experiment mechanism, designation of the reference building mass, scale model making, determination of the model building configurations, designation of measurement point positions and numbers, performing the measurement*

*visualization of the outputs and interpreting the results in short.*

*Consequently, the air flow in the courtyard not only circulates through up and down wind zones, but also circulates through the lateral areas. An air inlet opening located in the middle of the courtyard and an opening located in the middle of the lateral area of the courtyard cause the air flow to change direction in an abrupt way after moving into the courtyard, so that the air flow turns to the air outlet opening located on the lateral wall. Thus the air flow does not reach to high velocities in the wind direction within the courtyard. Results of the studies on the effects imposed by openings arranged in the mass of courtyard building, depending on said openings' positions towards the wind and their surface area rates, on the average velocity of the air flow occurring in the courtyard, can be summarized as follows.*

*Contribution of the openings situated on the lateral faces extending in parallel with the wind within the courtyard to increase the velocity is less than the contribution of the openings situated on the upwind and downwind surfaces. In other words, for arrangements where the courtyard openings' areas are equal, average speeds are lower in choices where openings are situated on the lateral surfaces only.*

*For choices with equal total opening areas, the ones having openings on their lateral surfaces and distributed on all upwind and downwind surfaces provide lower velocities than the ones having openings in the wind direction only.*

*This study explains the effects imposed by openings, which will be created in the architectural mass of courtyard buildings, upon the velocities of air flows within such courtyards, through tests conducted in a wind tunnel.*

*The results of this study indicate that for buildings containing openings arranged in different configurations from those of courtyard buildings, the openings located on perpendicular surfaces increase the velocities of air flows within courtyards in proportion with their dimensions and positions.*

**Keywords:** *Natural ventilation, In-building air movements, Wind effects, Passive cooling, Climate of buildings with courtyard.*

## **Giriş**

Rüzgar ya da hava hareketleri yapısal ve çevresel nedenlerle bina bileşeninden başlayarak, kent, bölge, ülke gibi çeşitli ölçeklerdeki planlama ve tasarım çalışmalarında asırlar boyunca kendisini kabul ettirmiş doğal bir veri olmuştur (Ansley vd., 1977). Rüzgardan yararlanan çeşitli pasif ya da doğal iklimlendirme yolları, sıcak iklim bölgelerinde soğutma enerjisi giderlerini en aza indirmek için mimarlar ya da şehirciler tarafından uygulanmaktadır (Awbi, 1994).

Bir pasif iklimlendirme aracı olarak özellikle sıcak-nemli iklim kuşaklarında, bina içi havalandırmanın sağlanması açısından hava hareketlerine gereksinim vardır. Sıcak-kuru iklim bölgelerinde, geleneksel avlulu bina formu sayesinde, doğal taşınım yoluyla bina içi-avlulu arasında kendiliğinden oluşan hava akımları, diğer ılımlı-nemli ve sıcak-nemli iklim bölgelerinde rüzgar basıncı yardımı ile elde edilmektedir (Ratti vd., 2003; Al-Mumin, 2001; Al-Hemiddi vd., 2001; Rajapaksha vd., 2003).

Avlulu bina formunun özellikle sıcak-kuru dışında diğer nemli iklimsel karakter gösteren bölgelerde doğal havalandırma açısından performansı artırıcı değişiklikler yapılarak geliştirilmesi gerekmektedir. Bina kompleksi içinde, avlular, diğer boşluklar gibi, rüzgar hızının arttığı kabul edilen bölümlerden biridir (Lawson, 1980).

Yerleşme dokusunda binalar, açık avlu şeklinde birbirlerine bağlandıklarında, rüzgar, ya avlunun üzerinden akıp geçer ya da avlu içerisinde dolaşır. Avlu yüzeyinin alanı, avlu şeklinde formlanmış binanın ortalama yüksekliği, rüzgar yönüne doğru olan avlu açıklıklarının boyutları ve pozisyonu, açıklıkların genişliği ya da açıklıkların toplam genişliği, Gandemer ve Guyot tarafından, avlu içerisinde rüzgarın nicel ve nitel özelliklerine etki eden değişkenler olarak ele alınmışlardır (Gandemer ve Guyot, 1976).

Ok ve ekibinin yapmış oldukları çalışmada yaya gezinti alanlarında, konforsuzluk parametresine, açık mekanın biçimlenişinin konumla birlikte etkidiği gösterilmiştir. Konforsuzluk parametre-

si, her iki tarafı rüzgara tamamen açık mekanda en üst düzeyde, çevresi tamamen kapalı veya bir tarafı açık seçeneklerde birbirine yakın ortadüzeylerde ama farklı değerlerde oluşmaktadır (Ok vd., 1996).

Sharples ve Bensalem tarafından gerçekleştirilmiş çalışmada avlulu binanın havalandırma performansına rüzgar yönünün etkisi gözlemlenmiş ve avlunun rüzgara dik doğrultuda konumlanması durumunda performansın düştüğü gözlenmiştir (Sharples ve Bensalem, 2001).

Konuya yakın olan bir diğer çalışmada ise; bina biçimlenmesinde boşlukların olması durumunda rüzgar geliş yönünde açılan alanlarda hava hızlarının en üst düzeylere ulaştığı gözlemlenmiştir (Ünal, 1995). Bu sonuçlar B.R.S.'de, 1974 yılında Peter F. Grigg tarafından yapılmış olan aynı türden deneylerle uyumludur (Grigs ve Sexton, 1974.).

Yerinde ölçümlerle yapılan çalışmalar, avluların hiçbir zaman sıcak iklimlerde yazın öğle vakitindeki sıcaklık derecesine ve gün doğmadan önceki serinlik derecesine ulaşamadığını göstermektedir. Boşluksuz binada avlu derinliği bu olayları kontrol etmede etkin değişken olmaktadır (Reynolds, 2001).

Ancak sıcak kuru iklim dışında, özellikle sıcak-nemli ve ılımlı-nemli iklim bölgelerinde yapılacak avlulu binalarda düşey yüzeylerde düzenlenecek boşluklar daha önem kazanacaktır. Bu nedenle aşağıda sunulan çalışmanın amacı, avlulu yapıların mimari kütlelerinde yaratılacak açıklıkların avlu mekanındaki hava hareketleri hızına etkilerini rüzgar tüneli deneyleriyle ortaya koymaktır.

## **Deney süreci**

Deneysel çalışmanın adımları kısaca; deney düzenine kurulması, referans bina kütlelerinin belirlenmesi, maket yapımı, örnek bina şekillerinin belirlenmesi, ölçüm noktalarının konumlarının ve adetlerinin saptanması, ölçümlerin yapılması, çıktıların görselleştirilmesi ve sonuçların yorumlanması adımlarından oluşmaktadır.

## Referans bina

Referans bina olarak seçilen avluyu çevreleyen kütlede hiç boşluk bulunmayan BSL-SUZ binada düzenlenecek 17 farklı boşluk şekli üzerinde deneysel çalışmalar yapılmıştır. Bina, 2 katlı, kat yüksekliği 3.00 m ve bina dış ölçüleri 14.00 x 14.00 x 6.00 m. avlu boyutları ise 6.00 x 6.00 x 6.00 m. olarak düşünülmüştür.

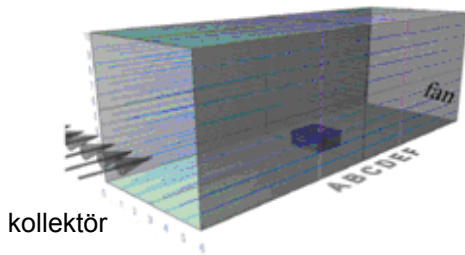
## Modelleme deneylerde kullanılan maketler

Farklı açıklıklı bina modellerini kolayca elde etmek olduğu için, deneyin yapılacağı referans avlulu bina modelinin modüler olması düşünülmüştür. Bu doğrultuda referans model, farklı açıklıklı 17 değişik avlu şekillerini sağlamak için 4.00x4.00x4.00 cm boyutlarında pleksiglass malzemeden içi boş kutulardan oluşturulmuştur (Şekil 3, Şekil 4).

Model; dıştan dışa 28.00x28.00x12.00 cm, içten avlu bölümü 12.00x12.00x12.00 cm ölçülerindedir.

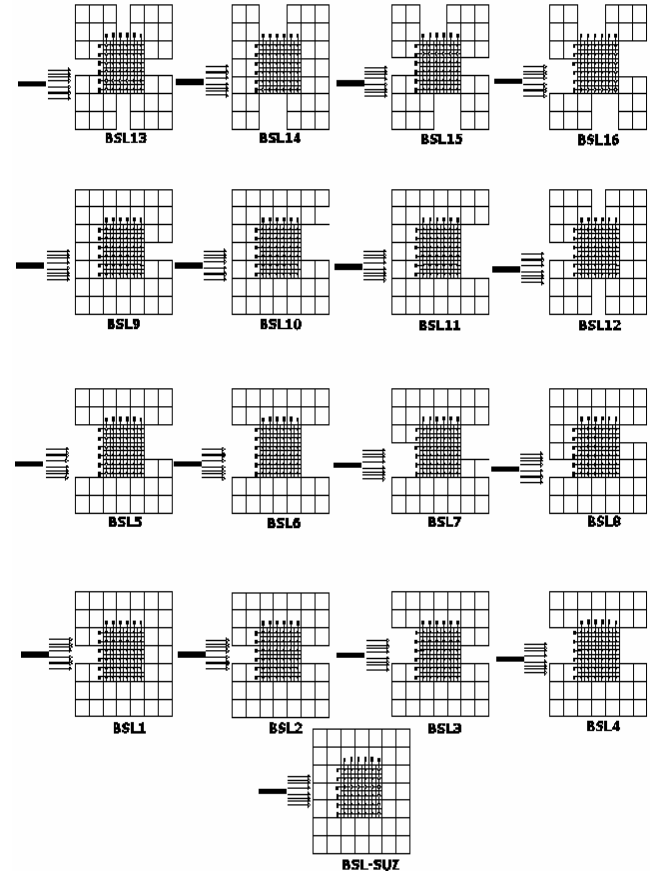
## Ölçüm noktaları

Avlu içerisinde X ve Y eksen doğrultularında 2.00 cm aralıklarla toplam 36 adet ölçüm noktası belirlenmiş ve her bir ölçüm noktasında Z boyutunda ise modelin zeminine, çatısına ve avlu yüzeylerinde düzenlenecek boşluk sınırlarına yaklaşıırken daralan farklı sıklıkta 34 adet ölçüm noktası olan profiller belirlenmiştir (Şekil 1- 2). Her bir ölçüm profilinde 0-4 cm arasında, 0,5 cm aralıklı toplam 9 adet, daha sonraki 10.00 cm ye kadar olan bölümde ise 1.00 cm aralıklı 6 adet, 10.00-17.00 cm arası bölgede ise yine 0.5 cm lik aralıklarla 14 adet, model dışında 17.00-22.00 cm arasında 5 adet ölçüm noktası belirlenmiştir.



Şekil 1. Tünel içinde model konumu ve ölçüm aksları

Bu ölçüm noktaları; rüzgar tüneli gözlem odası yan yüzüne, rüzgar doğrultusuna paralel konumda "A,B,C,D,E,F" ve rüzgara dik konumda "1.2.3.4.5.6" ölçüm aksları üzerinde yer almaktadır.

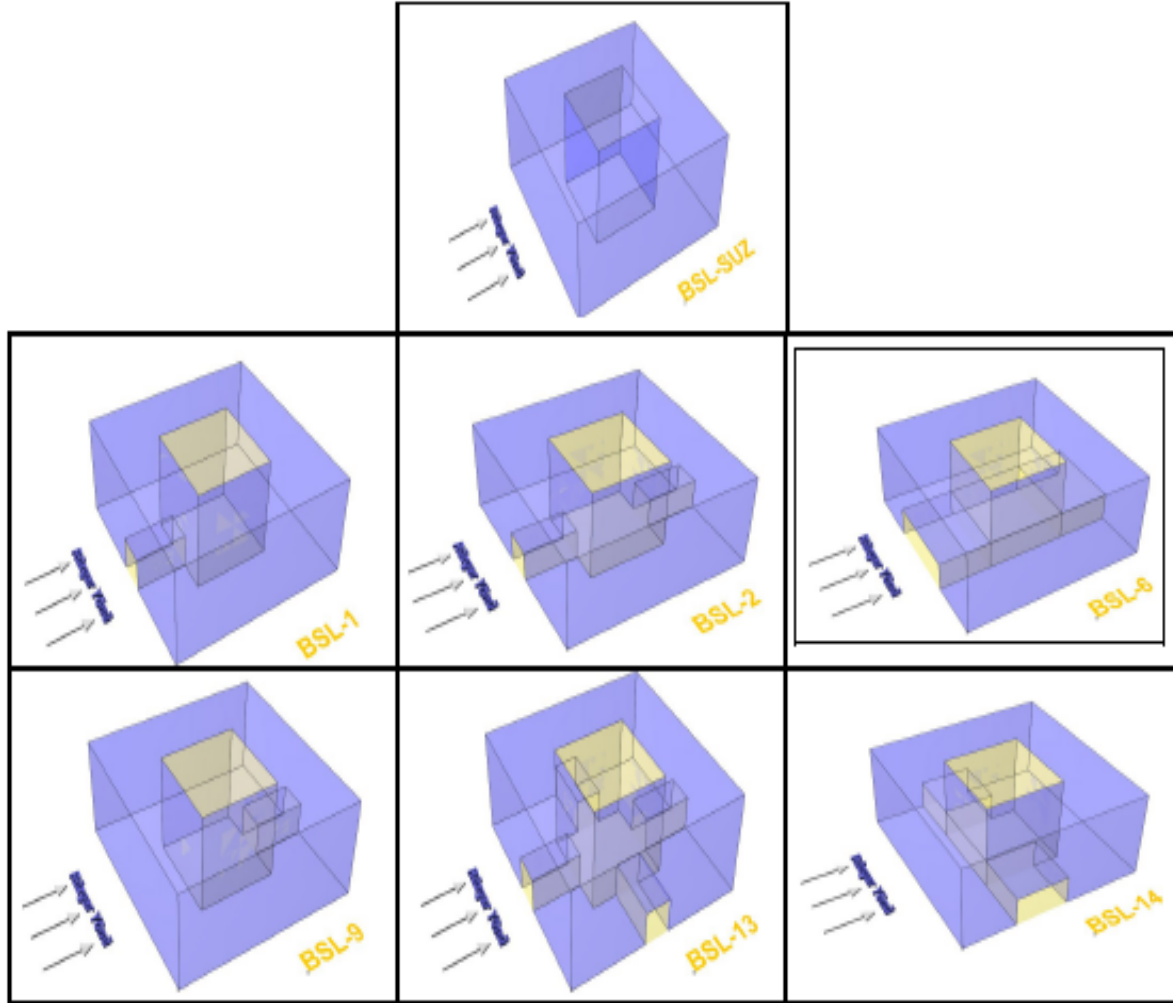


Şekil 2. Deneysel çalışması yapılan 17 farklı açıklıklı avlu şeklinin zemin kat plan düzleminde konumu

## Deneyisel bulgular

Bu makalede incelenen 17 farklı avlulu bina şeklinden, konuyu özetleyen, boşluk alan oranları veya konumları birbirinden dikkate değer farka sahip olan, BSL-SUZ, BSL-1, BSL-2, BSL-6, BSL-9, BSL-13, BSL-14 kodlu seçeneklerde 0.00 H, 0.25H, 0.50H, 0.75H, 1.00H ve 1.25H yüksekliklerinde gerçekleştirilen ölçümlerden elde edilen bulgular aşağıda grafiklerle sunulmaktadır (Şekil 4,5,6,7,8,9).

Boşluksuz (kompakt) avlulu bina şekli (BSL-SUZ) modeli zemin kat düzlemi ölçümleri referans olarak kabul edilmiştir.



Şekil 3. Deneysel sonuçları yorumlanan avlu şekillerinin görünüşü

**Boşluksuz(BSL-SUZ)** şeklinde; ilk H yüksekliğine kadar avlu içerisindeki tüm noktalarda ortalama rüzgar hızı, 1.50 m/s civarındadır. Profil düzleminde 1.25H–1.50H arası rüzgar hızı 1.50–2.50 m/s değere ulaşmıştır (Şekil 4,5,6,7,8,9).

**Rüzgar üstü bir boşluğu olan (BSL1) avlulu bina şeklinde;** hız değerleri ile referans bina olan BSL-SUZ şeklindeki değerler karşılaştırıldığında avlu içerisindeki hız değerlerinin arttığı görülmüştür. Bu şekilde açıklık, rüzgar üstü bölgesinde 3–4 aksları üzerinde oluşturulmuştur. Açıklık genişliği ve yüksekliği, avlunun bir boyutuna H denildiğinde, H/3 oranındadır. Açıklığın bulunmadığı 1–2 ve 5–6 akslarındaki noktalardaki hız değeri, referans binanın tüm noktalarındaki ortalama hız değeri ile aynı düzeyde 2.00–2.50 m/s iken açıklığın bulunduğu

3–4 aksları üzerindeki noktalarda ise hız değerlerinde ani artış meydana gelmekte ve ortalama hız, 4.50–5.00 m/s düzeyine çıkmaktadır. Burada avlu orta aksı olan 3–4 aksı üzerinde açılan H/3 oranındaki açıklığın, avlu içerisindeki ortalama hız değerini yaklaşık % 60 oranında arttırdığı gözlemlenmektedir. Grafik değerlerine baktığımızda ise 1–2 ve 5–6 aksı üzerindeki değerlerin yaklaşık birbirinin simetrisi şeklinde olduğu görülmektedir (Şekil 4,5,6,7,8,9).

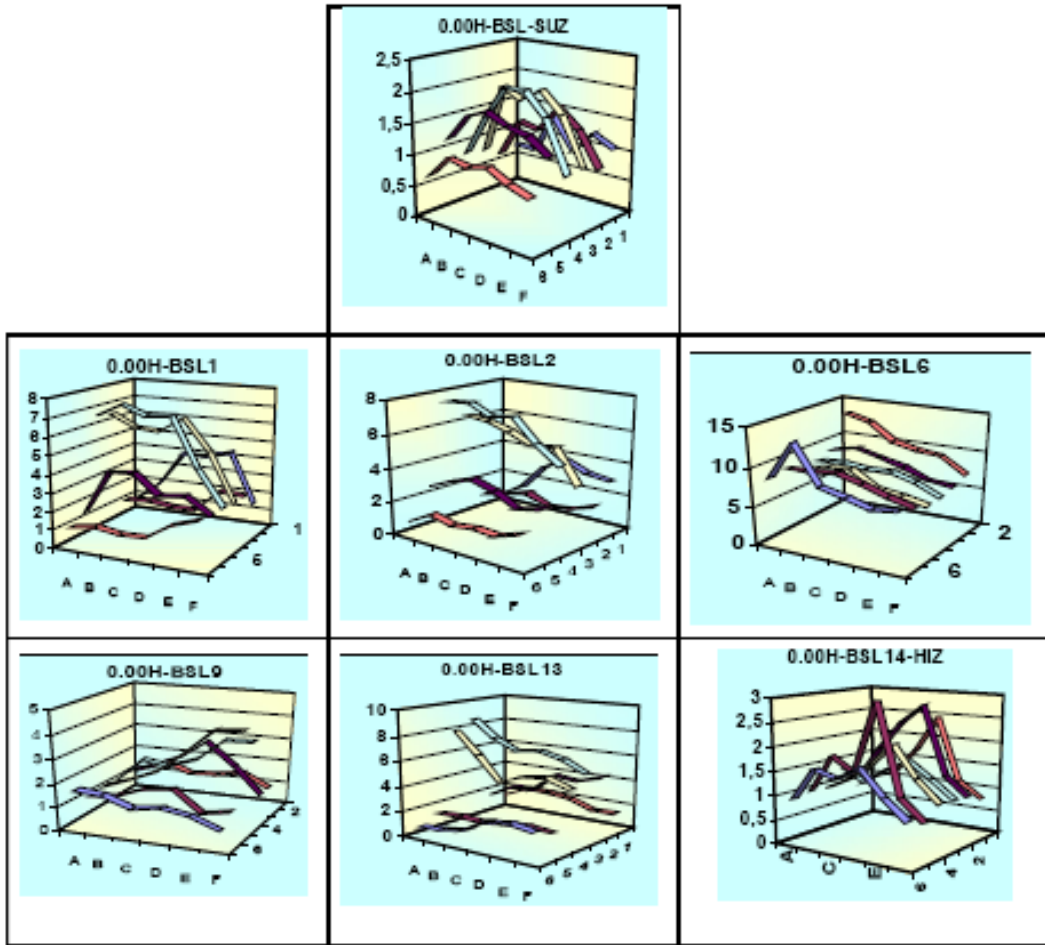
Rüzgar üstü ve altı bölgelerinde karşılıklı birer boşluğu olan (BSL2) avlulu bina şeklinde; bir önceki referans bina ve BSL1 binaları ile karşılaştırdığımızda avlu içerisindeki rüzgar hızının oldukça arttığı görülmüştür. Açıklık genişliği, bir önceki durumda olduğu gibi H/3 dür. Bir önceki bina durumlarında ortalama 2.50–3.00 m/s hız varken burada ortalama 4.50–5.00 m/s

hız değerlerine ulaştığı görülmektedir. Açıklığın bulunduğu hem rüzgar üstü ve hem de rüzgar altı bölgesinde 3–4 aksı üzerinde hız değerleri, zemin kat seviyesinde 5.50–6.00 m/s gibi oldukça yüksek değere ulaşmıştır (Şekil 4,5,6,7,8,9).

**Avlunun rüzgar üstü ve altı bölgeleri, diğerlerinde olduğu gibi, zemin kat yüksekliğinde karşılıklı boş bırakılan (BSL6) avlulu bina şeklinde;** 1–2–3–4–5–6 aksları üzerindeki tüm noktalar plan düzleminde açıklık hizasında bulunmaktadır. (Şekil 5). Açıklığın giriş bölgesi olan rüzgar üstü bölgesi ile çıkış bölgesi olan rüzgar altı bölgesi genişliği  $H$ , yüksekliği ise  $H/3$  oranlarındadır. Hızlar, deney yapılan diğer avlulu bina modellerinde elde edilen hız değerlerine göre daha yüksek değerlere ulaşmıştır.  $0.00H$ – $0.50H$  arası düzeyde, laminar akım tipinde, 7.00–7.50 m/s gibi çok yüksek düzeyde hızlar elde edilmiştir.  $0.50H$  ve  $1.25H$  seviyele-

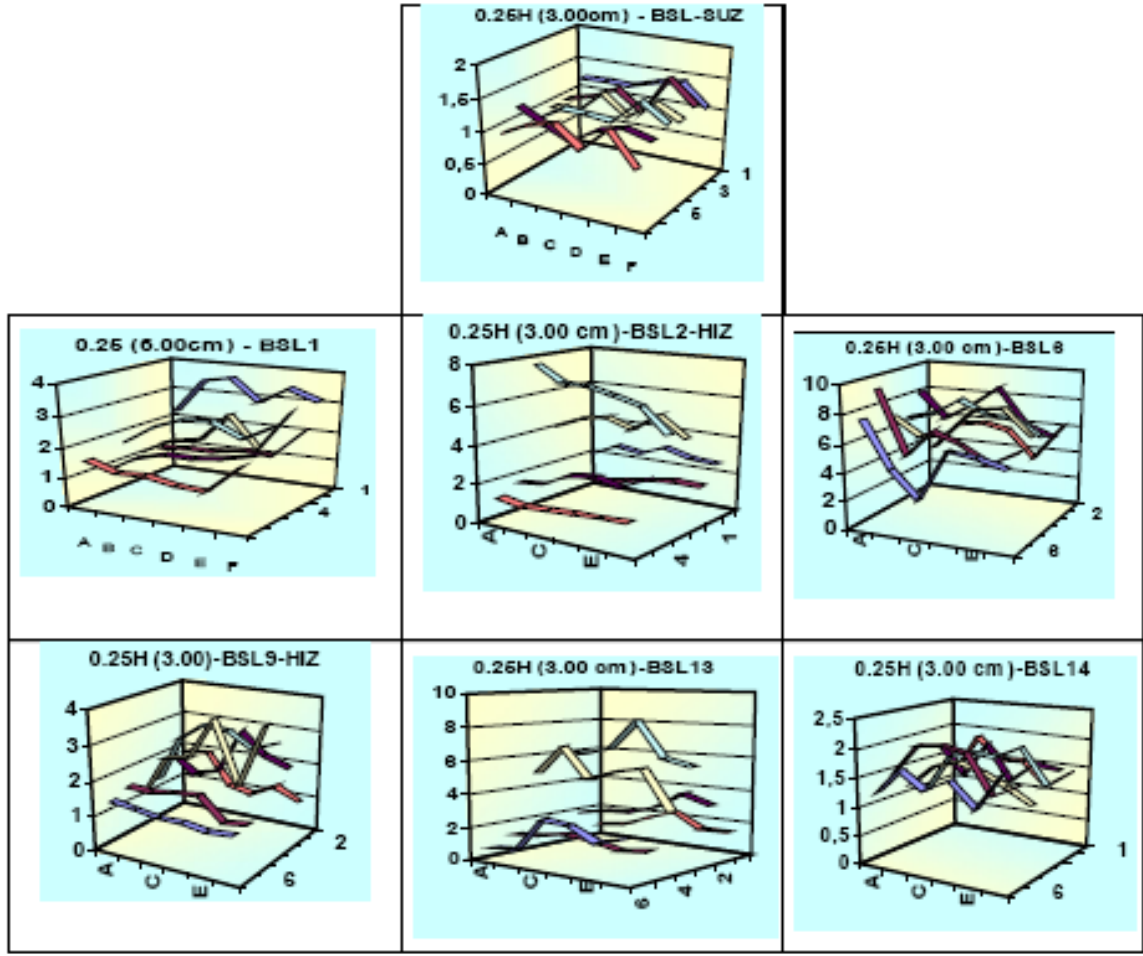
rindeki akıma baktığımızda, türbülanslı akım tipi ve hızların, 1.50–2.00 m/s arası değere düştüğü görülmüştür (Şekil 4,5,6,7,8,9).

Yukarıda anlatılan diğer şekllenden farklı olarak, BSL1'in tersi, boşluğu rüzgar altı bölgede bulunan BSL9 avlulu bina şeklinde; avlu üzerinde bulunan açıklık genişliği ve yüksekliği  $H/3$  oranlarındadır.  $0.00H$  ile  $0.50H$  arası rüzgar üstü bölgesindeki A-B-C noktalarında rüzgar hızları düşük seviyede 1.50–2.00 m/s civarında çıkarken rüzgar altı bölgesine yakın D3-D4, E3-E4, F3-F4 noktalarında ise hız 3.50–4.00 m/s ye çıkmıştır.  $1.25H$  seviyesine kadar avlu içi ortalama hız, 1.50–2.00 m/s iken  $1.50H$  dan itibaren rüzgar hızında ani bir artış görülmüş ve hız değerleri 8.50–9.00 m/s ye ulaşmıştır.  $1.25H$ – $1.50H$  yüksekliklerinde oldukça yüksek türbülans değerlerine ulaşılmış yaklaşık % 50–60 türbülanslı hava akımı elde edilmiştir (Şekil 4,5,6,7,8,9).



Şekil 4. Açıklıkların bulunduğu zemin düzlemi  $0.00H$  seviyesi hız grafikleri





Şekil 5. Açıklıkların bulunduğu 0.25H seviyesi hız grafikleri

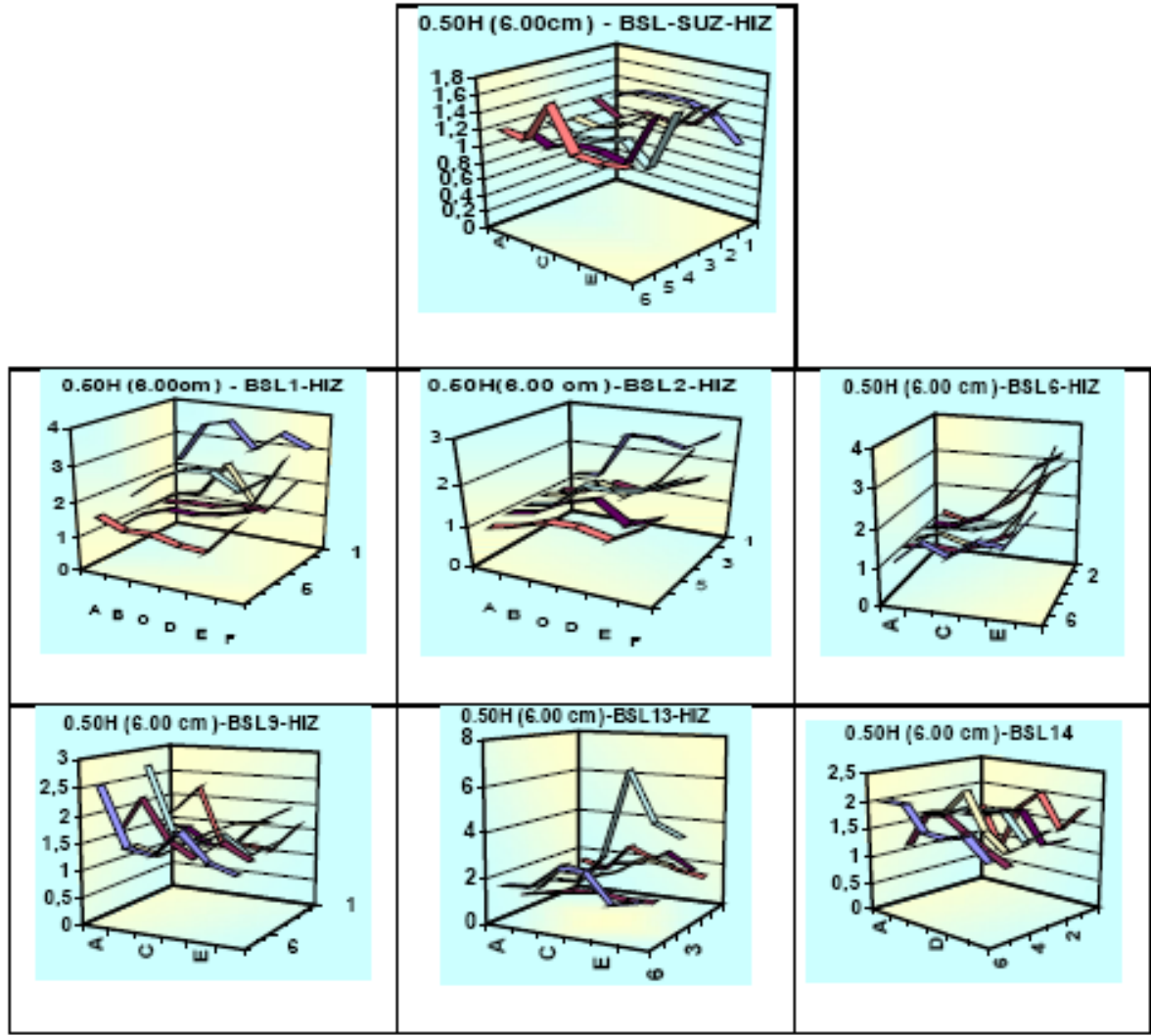
**BSL13 avlulu bina şekli;** rüzgar üstü ve rüzgar altı bölgesindeki 3-4 akslarının bulunduğu noktalardan birer tane ve C-D akslarının bulunduğu yan yüzeylerde birer tane 4.00x4.00x4.00cm lik kutu, boşaltılarak elde edilmiştir. Böylece hem rüzgar üstü-rüzgar altı bölgesi avlu orta aksı, hem de yanal alanlardaki orta aks üzerin de açıklıklar oluşturulmuştur. Zemin seviyesinde, rüzgar üstü bölgesinde 3-4 aksı üzerindeki açıklığın bulunduğu noktalarda hız değerleri, diğer açıklığın bulunmadığı noktalara göre oldukça yüksektir. Açıklıkların bulunmadığı 1-2 ve 5-6 aksları üzerindeki noktalarda ölçülen hızlar ortalama 1.50 m/s civarındadır. 1-2 ve 5-6 aksları üzerindeki noktalarda hız değerleri değişimleri, 0.70-4.50 m/s arasında 3-4 aksı üzerindeki noktalarda ise 4.50 ile 8.50 m/s arasındadır. 0.50H seviyesine kadar avlu içerisinde en yüksek hız değerleri 3-4 aksları üzerindeki noktalarda görülmüştür. 1.25H seviyesine kadar ortalama hız

değeri 3.50 m/s iken 1.50H seviyesinden itibaren hız değerlerinde ani bir yükselme görülmektedir (Şekil 4,5,6,7,8,9).

**Akıma paralel yan yüzlerde boşluğu bulunan BSL14 avlulu bina şeklinde;** açıklık genişlikleri  $2H/3$ , yükseklikleri ise  $H/3$  dür. Bu şekil ölçümleri ile, referans bina olan BSL-SUZ avlulu bina modeli ölçümleri ile karşılaştırıldığında, 1.25H seviyesine kadar olan hava hız değerleri ve türbülans değerleri birbirine oldukça yakın olduğu görülmektedir (Şekil 4,5,6,7,8,9). Bu ölçümlerde 1.25H seviyesine kadar 2.00 m/s rüzgar hızı değerinin üzerinde bir hıza rastlanılmamıştır.

### Bulguların karşılaştırmalı yorumu

Bazı avlulu bina şekillerinin açıklık oranları aynı değerde olmasına rağmen avlu içerisinde oluşan



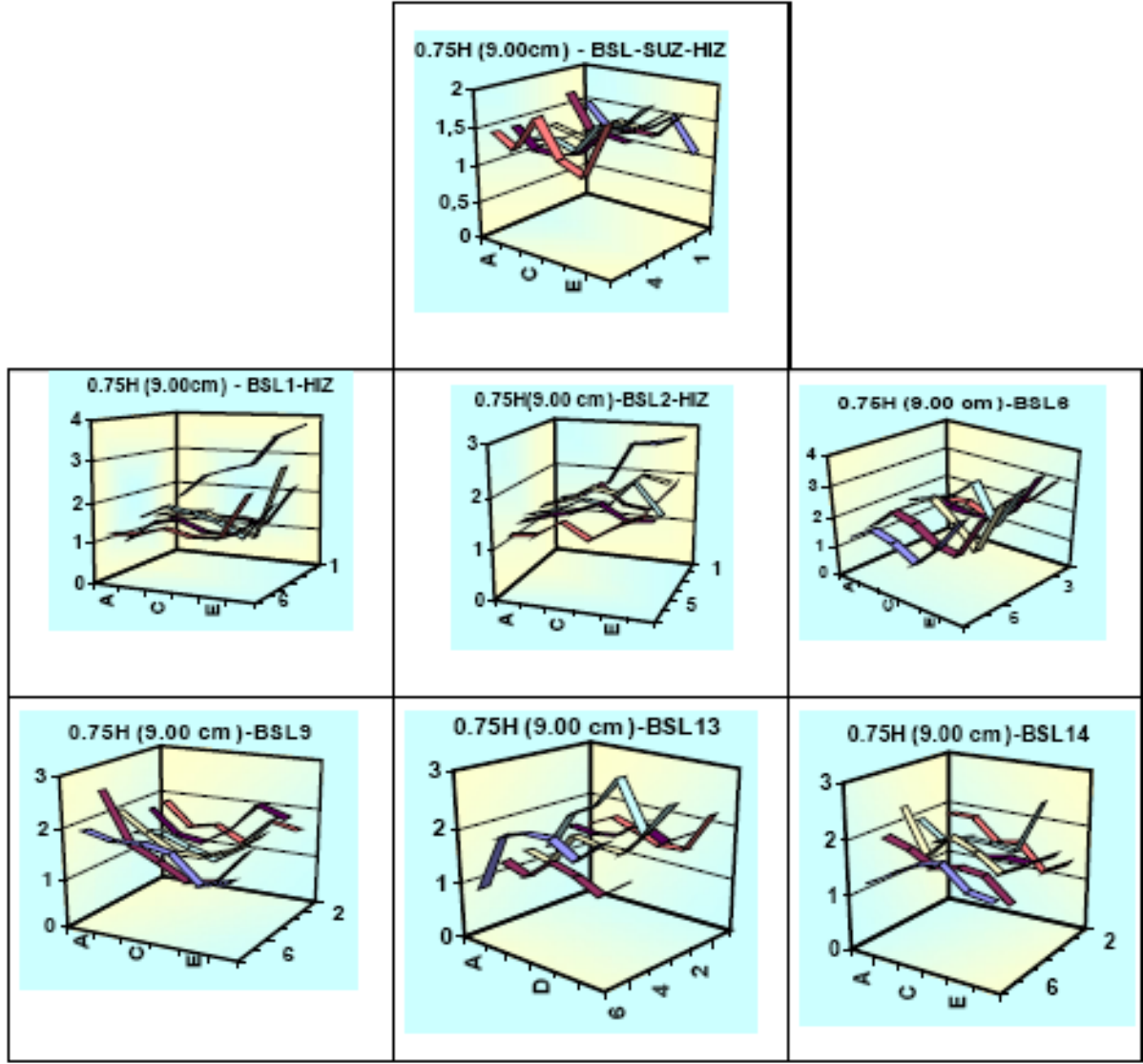
Şekil 6. Açıklıkların bulunmadığı 0.50H seviyesi hız grafikleri

hava hızı ve türbülans değerleri farklı düzeylerde çıkmıştır. Farklı değerlerin çıkması, açıklıkların rüzgara göre konumundan kaynaklanmaktadır. Açıklık oranları farklı olan şekillerde ise sonuçların farklılığı açıklık alanlarının mutlak değer olarak büyüklüğü ve konumlanışlarına bağlıdır. Aşağıda açıklık şekilleri arasındaki benzerlikler ve farklılıklar dikkate alınarak yapılan karşılaştırmalardan örnekler sunulmaktadır.

BSL1-BSL9 avlulu bina şekillerinde açıklık oranları aynıdır. BSL1 şeklindeki hız değerleri ile referans bina olan BSL-SUZ şeklindeki değerler karşılaştırıldığında avlu içerisindeki hız değerlerinin arttığı görülür. Referans bina avlu H yüksekliği içinde ortalama hız, 1.50m/s iken BSL1 de ise 2.50 m/s değerine yükselmektedir. Açıklığın bulunduğu rüzgar üstü noktalarda ise

bu oran 4.50–5.00 m/s değerine ulaşmaktadır. 0.00H ve 0.50 H seviyelerindeki akım değerlerine baktığımızda laminar akım tipi görülmektedir. BSL9 şekli, rüzgar yönünde açıklık olmaması açısından benzerlik gösterirken avlu içindeki ölçümler farklı çıkmıştır. Açıklığın olmadığı rüzgar üstü bölgesi tarafında avlu içi ortalama rüzgar hızı referans bina ile aynı 1.50–2.00 m/s arasında iken açıklığın bulunduğu rüzgar altı bölgesi tarafında ortalama rüzgar hızı 3.50–4.00 m/s arasındadır. Dolayısıyla açıklık bulunan BSL1-BSL9 avlulu bina modellerinin açıklık bulunan taraflarındaki avlu içi ortalama rüzgar hızları hemen hemen aynı seviyede 3.50–4.00m/s dir. Her iki şekilde açıklığın bulunmadığı taraftaki ortalama rüzgar hızları ise referans bina ile aynı düzeyde 1.50–2.00 m/s dir (Şekil 4,5,6,7,8,9).





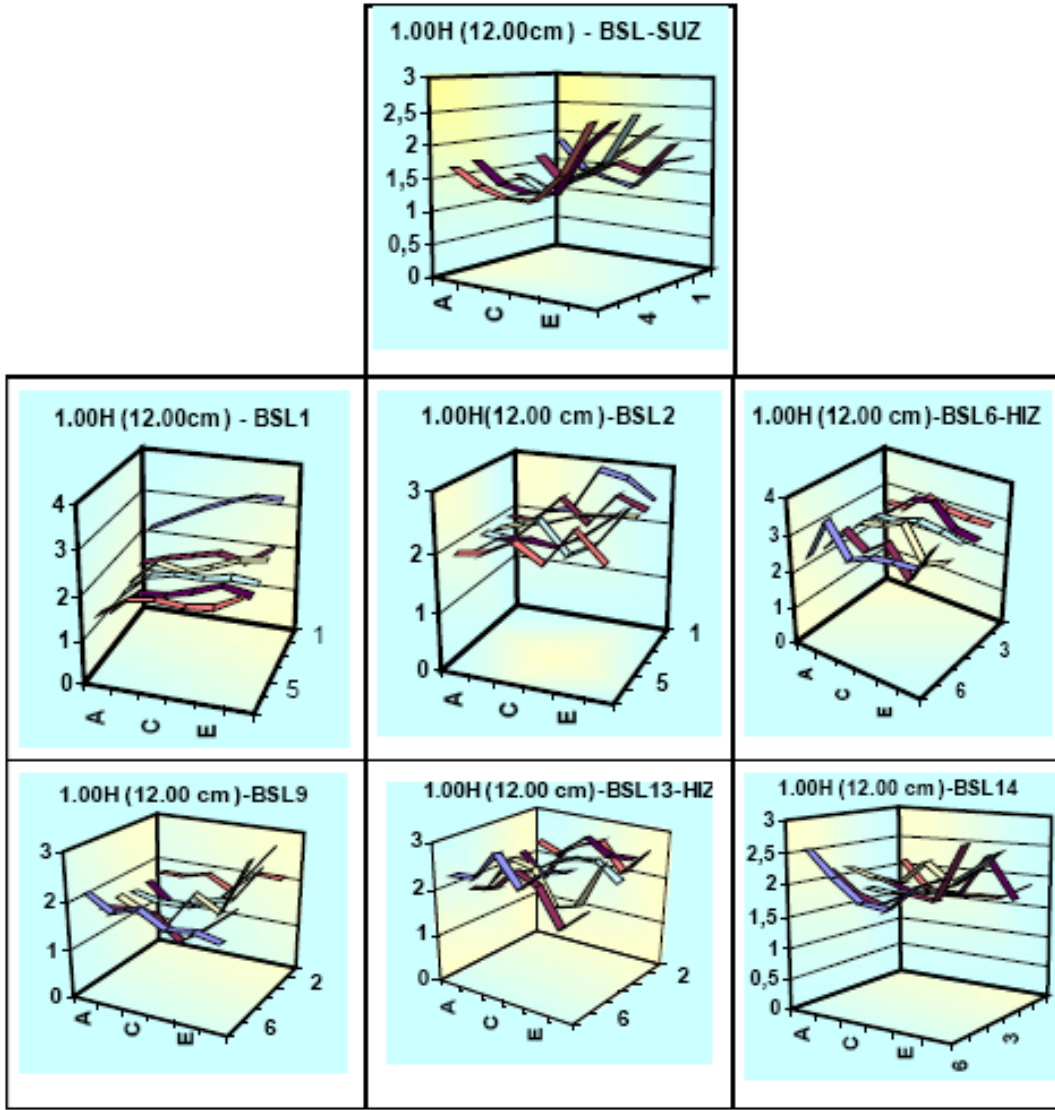
Şekil 7. Açıklıkların bulunmadığı 0.75H seviyesi hız grafikleri

BSL2 de; bir önceki bina ve BSL1 binaları ile karşılaştırdığımızda avlu içerisindeki rüzgar hızının oldukça arttığını görmekteyiz. BSL1 de H yüksekliğinde ortalama hız değeri 2.50 m/s iken BSL2 de 4.50–5.00 m/s değerlerine yükselmiştir. Karşılıklı olarak bırakılan boşluklarda, ortamda meydana gelecek hava akışı oldukça yüksek oranda olacaktır. BSL2-BSL4-BSL6 şekillerindeki açıklıklar farklı oranlarda karşılıklı olarak bırakılmıştır. Bu üç şekilde avlu içindeki açıklığın olduğu noktalarda beklendiği gibi açıklık yüksekliğince yüksek değerlerde rüzgar hızları meydana gelmiştir (Şekil 4,5,6,7,8,9).

BSL13 de ise ortalama avlu içi H yüksekliği rüzgar hızı, 3.50 m/s dir. Zemin seviyesinde,

rüzgar üstü bölgesinde 3–4 aksı üzerindeki açıklığın bulunduğu noktalarda hız değerleri, diğer açıklığın bulunmadığı noktalara göre oldukça yüksektir.

BSL14 şeklinde bırakılan açıklık yalnızca yanal alanlardan olduğu için bina avlu içerisine rüzgar, rüzgar üstü bölgesinden girememekte böylece avlu içi rüzgar hızı değerleri de düşmektedir. BSL14 ölçümleri ile, referans bina olan BSL-SUZ avlulu bina modeli ölçümleri karşılaştırıldığında avlu içi 1.25H seviyesine kadar olan hava hız değerleri hemen hemen aynı ortalama rüzgar hızı 1.50 m/s dir. Bu seviyede neredeyse 1.25H seviyesine kadar 2.00 m/s rüzgar hızı değerinin üzerinde bir hıza rastlanılmamıştır.



Şekil 8. Açıklıkların bulunmadığı 1.00H seviyesi hız grafikleri

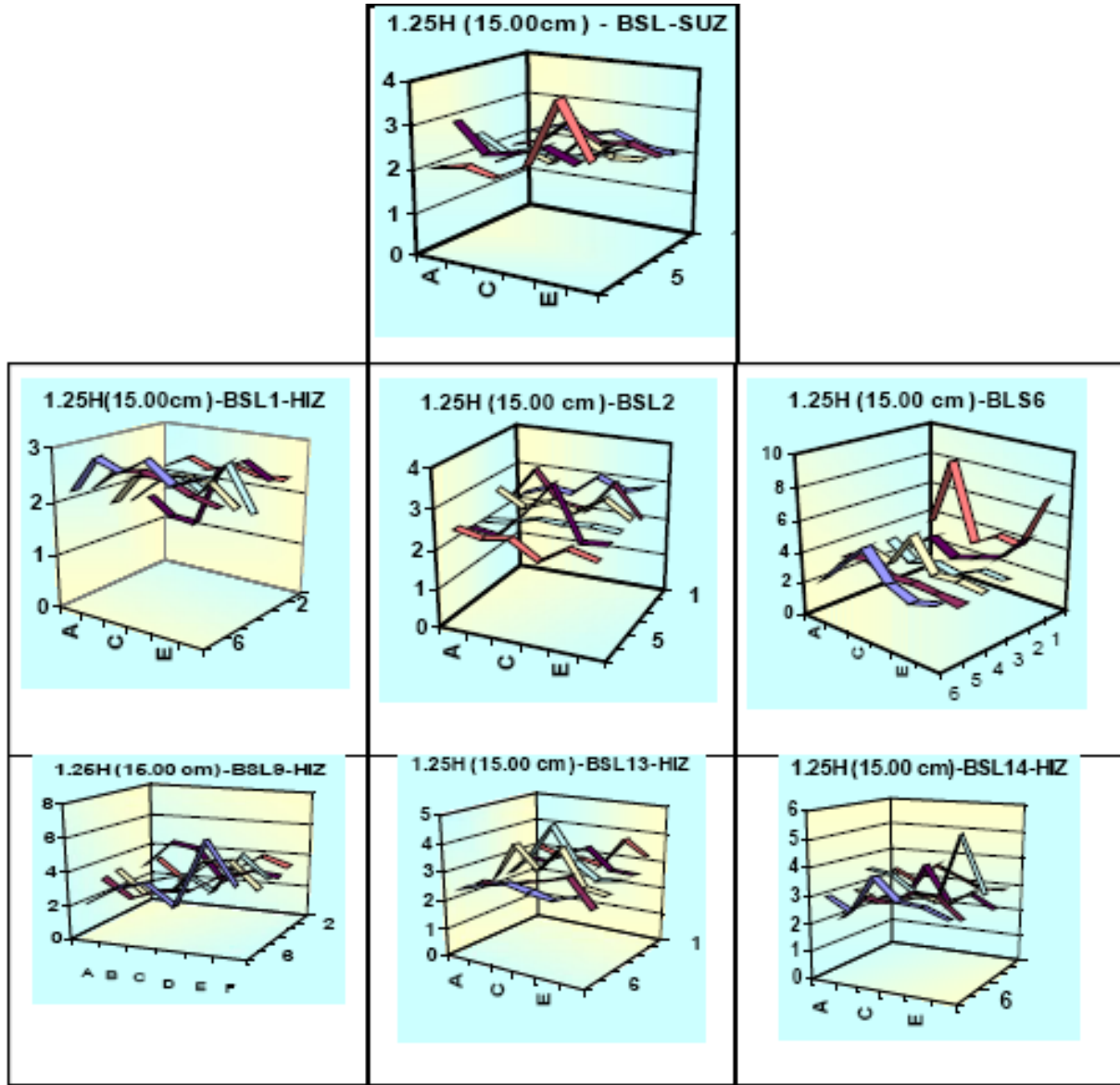
BSL13 ve BSL14 şekilleri; şu ana kadar ele alınan diğer şekillere göre farklılık göstermektedir. Çünkü diğerlerinde yalnızca rüzgar üstü ve rüzgar altı bölgelerinde açıklıklar oluşturulmuş bunlarda ise bu bölgelere ek olarak yanıl alanlardan da açıklıklar oluşturulmuştur.

Dolayısıyla avlu içerisindeki hava akışı yalnızca rüzgar üstü ve rüzgar altı bölgesinden olmamakta aynı zamanda yanıl alanlardan da olmaktadır. Avluyu ortalayacak biçimde yerleştirilmiş hava giriş açıklığı ile yanıl alanın ortasında açılmış olan açıklık, hava akımının avlu içerisine yönlendikten sonra ani bir yön değişimi yapmasını sağlayarak, yan duvarda yer alan hava çıkış açıklığına doğru yöneltir. Böylece avlu içerisinde

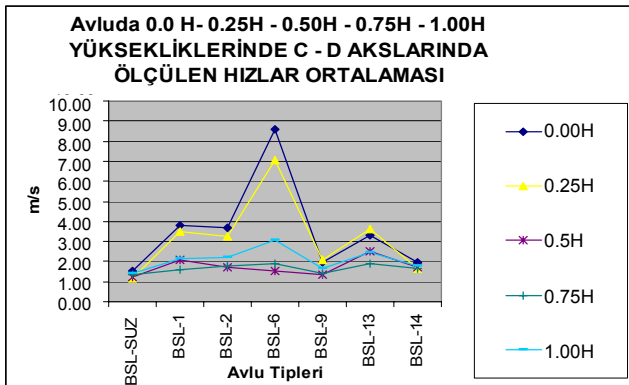
rüzgar doğrultusunda yüksek oranlarda hava hızı meydana gelmemiş olur. Avlu içerisindeki noktalarda 1.25H yüksekliğine kadar ortalama rüzgar hızı, 3.00–3.50 m/s civarındadır. Burada özellikle rüzgar altı bölgesindeki noktalarda türbülans değerleri yüksek seviyededir.

## Sonuç

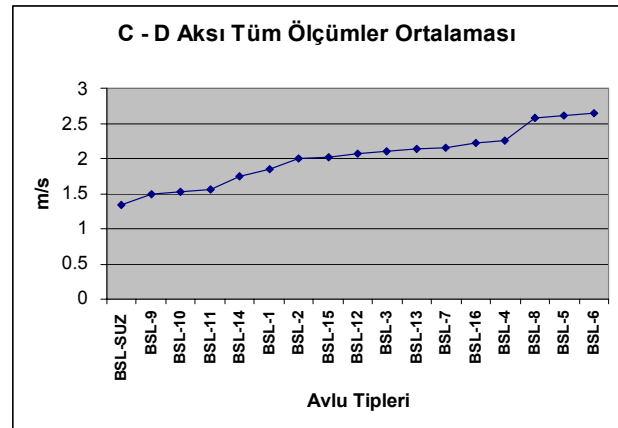
Avlulu binaların kütlesinde düzenlenen boşlukların rüzgara göre konumlarının ve alan oranlarının avluda oluşan ortalama hava hızları üzerindeki etkilerini ortaya koyan sonuçlar, makalede ele alınan şekillerle, Şekil 10, Tablo 1 ve Şekil 11'in yardımıyla, aşağıdaki noktalarda özetlenebilir.



Şekil 9. Avlu üstünde 1.25H seviyesi hız grafikleri



Şekil 10. Avlu içinde 0.00H, 0.25H, 0.50H, 0.75H, 1.00H yüksekliklerinde, C - D Aksında ölçülen hızların ortalama değerleri değişimleri



Şekil 11. Avlu içinde C – D akslarında yapılan tüm ölçümlerin ortalamalarının değişimi

Avlu içinde hızlar, özellikle orta akslarda, rüzgar doğrultusunda boşluğa sahip tiplerde boşlukların bulunduğu katmanlarda yüksek değerlerde, boşluksuz kitle hizasında ya da boşluksuz tipte tüm kotlarda düşük değerlerde gerçekleşmektedir (Şekil 10). Bir başka deyişle avlu için

-de hız dağılımı açıklıkların konumuna göre yatay ve düşey boyutta değişim göstermektedir.

Tablo 1’den ve Şekil 11’den izlenebileceği gibi,

- Boşluksuz kapalı avlu (BSL-SUZ) tipi en alt düzeyde hava hızına sahiptir.

- Rüzgar üstü ve rüzgar altı karşılıklı yüzeylerde boşluk oranı büyüdükçe doğru orantılı olarak hız artışları olmaktadır.

- Rüzgar üstü ve rüzgar altı karşılıklı yüzeylerde farklı miktarlarda boşluk oranı olması durumunda rüzgar üstü yüzeydeki boşluk büyüdükçe hız artışları dikkate değer miktarda olmaktadır.

- Avlu içinde rüzgara paralel yan yüzlerde düzenlenen boşlukların hızları artırıcı etkileri rüzgar üstü ve rüzgar altı yüzeylerde düzenlenen boşluklara oranla daha azdır. Bir başka deyişle, avlu açıklık alanları eşit olan düzenlemelerde açıklıkları yalnızca yan yüzeylerde bulunan seçeneklerde hız ortalamaları daha düşük miktarlarda oluşmaktadır.

- Toplam açıklık alanları eşit seçeneklerden yalnızca rüzgar doğrultusunda açıklıklara sahip olanlara göre açıklıkları yan yüzeyler ve rüzgar üstü ve altı yüzeylerin tümüne dağılmış seçeneklerde hızlarda azalma görülmektedir.

**Özetle;** Kütlesi bir avlu etrafında oluşturulan binalarda yüzeyleri etkileyen hava hızları avlu

çeperlerinin geçirgenlikleriyle doğru orantılı olarak artmakta ya da azalmaktadır.

\*Tek yönlü açıklık düzenlenmesi durumunda rüzgar üstü yüzeydeki açıklıklar en üst düzeyde rüzgar altı yüzeydekiler ise en alt düzeyde etkin olmaktadır.

\* Açıklıkların karşılıklı iki yüzde olması durumunda açıklıkların birbirlerine ve rüzgara göre konumuna bağlı olarak etkinlikleri değişebilmektedir. Rüzgara dik doğrultuda karşılıklı açıklıklar en etkin performans ortaya koyarken yan yüzlerde karşılıklı açıklık düzenlemesinde hızlar daha düşük düzeylerde gerçekleşebilecektir.

\* Açıklıkların birbirlerine göre konumları, alan oranlarına bağlı olarak avlu içi ortalama hava hareket hızında düşüşler olabileceği gibi alansal dağılımda yükseldiği noktalar da oluşabilecektir.

**Genel Sonuç olarak;** avlulu bina biçiminin, avlu içi yüzeyleri rüzgardan en üst düzeyde yararlan-dırmak üzere optimizasyonunda ön tasarım aşamasında seçenek üretilmesinde ve değerlendirilmesinde yukarıda sunulan çalışma bulguları, izlenen deneysel yol kullanılabilir.

**Not:** Bu makalede sunulan bulgular İTÜ Araştırma Etkinlikleri tarafından desteklenen Enes Yaşa’nın Yük. Lisans Tezine temel teşkil eden ‘Avlulu Binalarda Rüzgar Etkisi İle Oluşacak Hava Akımlarına Yüzey Açıklıklarının Etkisinin Deneysel İncelenmesi’ isimli araştırma projesine dayanmaktadır.

Tablo 1. Avlu içi D ölçüm aksında 0.00H’den 1.00H’a ölçümlenen tüm hava hızlarının ortalama değerleri

AVLU KONFIGÜRASYONLARI	ORTALAMA HIZ DEĞERLERİ (m/s)	Boşluk Alanı (modül)			
		Rüzgar Üstü	Rüzgar Altı	Yanyüz1 + Yanyüz2	Toplam
BSL-SUZ	1.40	0	0	0	0
BSL-9	1.45	0	1	0	1
BSL-14	1.74	0	0	4	4
BSL-1	1.87	1	0	0	1
BSL-2	2.02	1	1	0	2
BSL-13	2.18	1	1	2	4
BSL-6	2.57	3	3	0	6

## Genel sonuçlar

Yapılan deneysel çalışma sonucu; avlu içerisinde elde edilen hava akım değerlerinin sayısal yöntemler kullanılarak avlulu bina içerisinde tam olarak ne kadar soğutma ve havalandırma oluşturacağı şeklinde daha sonra yapılacak çalışmalara ön bilgiler sunması, tasar verilerine bir taban oluşturması açısından deneysel bir çalışmadır. Dolayısıyla bu doğrultuda daha sonra değişik şekillerde ve farklı boyutlardaki avlulu binalarda pek çok deneysel ölçümler ve sayısal çalışmalar yapılacaktır. Sonuç olarak yapılan tüm ölçümler ve elde edilen sonuçların güvenilirliği ve kullanılabilirliği konusunda bundan sonra yapılacak tüm bu çalışmalara çok iyi bir referans olacak ve değişik durumlarda tasar verilerine bir taban oluşturacaktır.

## Kaynaklar

- Al-Hemiddi N. A., Al-Saud K. A. M., (2001). The effect of a ventilated interior courtyard on the thermal performance of a house in a hot-arid region, *Renewable Energy*, **24**, 3-4, 581-595.
- Al-Mumin, A.A., (2001). Suitability of sunken courtyards in the desert climate of Kuwait, *Energy and Buildings*, **33**, 2, 103-111.
- Ansley, R.M., Melbourne, W., Vickery, B.J., (1977). *Architectural Aerodynamics*, Applied Science Pub., London.
- Awbi, H.B., (1994). Design consideration for naturally ventilated buildings, *Renewable Energy*, **5**, 5-8, 1081-1090.
- Gandemer, J., Guyot., A., (1976). Integration du Phenomene Vent Dans La Conception du Millieu Bati, Premier Ministre Groupe Central des Villes Nouvelles Secretariat General, Paris, France.
- Grigs, P.,F., Sexton, D.E., (1974). Experimental techniques for wind tunnel tests on model buildings, *Energy and Buildings* CP 43/74, BRS, Garston, England.
- Lawson, T., V., (1980). Wind effects on buildings – Vol. **1**, *Design Applications*, Applied Science Publishers, London.
- Ok, V., Özsoy, A., Atlı, V., Esin Altaş, N., vd., (1996). Yerleşme dokusu dizayn değişkenlerinin açık mekanlardaki rüzgar hızına ve akım tipine etkilerinin incelenmesi, TÜBİTAK Proje No. İNTAG-214, P.3-4.
- Rajapaksha, I., Nagai, H. ve Okumiya, M., (2003). A ventilated courtyard as a passive cooling strategy in the warm humid tropics, *Renewable Energy*, **28**, 11, 1755-1778.
- Ratti, C., Raydan, D., ve Steemers, K., (2003). Building form and environmental performance: archetypes, analysis and an arid climate, *Energy and Buildings*, **35**, 1, 49-59.
- Reynolds, S.J., (2001). Courtyards, aesthetic, social and thermal delight, New York.
- Sharples S. ve Bensalem, R., (2001). Airflow in the courtyard and atrium buildings in the urban environment: A wind tunnel study, *Solar Energy*, **70**, 3, 237-244.
- Ünal, B., (1995). Bina biçimlenmesinde boşlukların yakın çevredeki hava hareketi üzerine etkilerinin incelenmesi, Y.Lisans Tezi.